

## 耳石 Sr:Ca 比によって推定した利根川産大型ヤマメの回遊履歴

津行篤士<sup>1)</sup>・反町工健<sup>2)</sup>・新井 肇<sup>3)</sup>・海野徹也<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup> 広島大学大学院生物圏科学研究科, 〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

<sup>2)</sup> 〒375-0011 群馬県藤岡市岡之郷

<sup>3)</sup> 群馬県水産試験場, 〒371-0036 群馬県前橋市敷島町13

**要 旨** 利根川上流域で採集した大型ヤマメ8個体の回遊性を耳石 Sr:Ca 比分析を用い検証した。その結果、3個体が降海型、5個体が非回遊型と推定された。最も上流で釣獲された検体(降海型)は、4つの堰を通過し、利根川河口から243km 遡上していた。利根川には降海型サクラマスと非回遊型の大型ヤマメが生息しており、環境に応じて柔軟に回遊パターンを変化させている可能性が示唆された。

**キーワード**: 大型ヤマメ, 回遊履歴, サクラマス, 耳石 Sr:Ca 比, 利根川

### 緒 言

サクラマス *Oncorhynchus masou masou* は通し回遊魚であり、カムチャツカ半島、沿海州、中国東部、朝鮮半島、北海道、本州、九州まで広く分布する(久保, 1980; 木曾, 2014)。本種は漁獲されるサクラマス4亜種の中で漁獲量が圧倒的に多く、内水面における重要種となっている(木曾, 2014)。しかし、1960年代まで2,000t 前後であった年間漁獲量は、2005年に500t 前後まで落ち込んだ(玉手, 2008)。資源量の低下はダムや堰による河川連続性の喪失や水質悪化が原因と考えられており(田子, 1999; 福島・亀山, 2006; 永田, 2008)、本種は河川の健全性を把握する指標種としても注目されている(山崎ら, 2008)。

一般的に降海型の生活史を持つサクラマスの仔魚は、河川上流域で孵化した後、1年間は河川で過ごし、2年目の春に降海する(木曾, 2014)。降海後のサクラマスは小魚やオキアミ類を捕食しながら海洋で成長し、3年目の春から遡上を始め、その年の9–11月には河川上流域で産卵する(木曾, 2014)。一方で、北海道の屈斜路湖にはスモルト化するものの、淡水域に残留し、大型化する個体群も存在もする(Kasugai *et al.*, 2014)。

利根川は大水上山を水源とし、関東の1都5県を貫流する流路延長322km、流域面積16,840km<sup>2</sup>におよぶ日本最大級の一級河川で、上流域に生息する大型ヤマメは“利根マス”もしくは“戻りヤマメ”と呼ばれ、遊漁の対象となっている(新井ら, 2014)。これら“利根マス”の生息域は河口から200km 以上も上流である場合もあり、しかも、上流までにはいくつかの堰があるため、“利根マス”が降海型である確証は得られていなかった。新井ら(2014)は、利根川上流域で採集された大型ヤマメの耳石 Sr:Ca 比を分析し、それらが降海型であることを明らかにした。ただし、先に述べたように、多様な生活型を持つサクラマスの保全のためには、より多くの大型ヤマメの回遊履歴を把握することが重要である。本研究では、多年にわたり利根川上流域で釣獲された大型ヤマメの耳石 Sr:Ca 比を用いて回遊履歴を推定した。

### 材料および方法

#### 供試魚の採集

供試魚は全長 32–54 cm の計8個体で、1999–2015年にかけて、利根川河口から180–243km 上流の St.1

-4で釣獲された (Table 1)。個体番号 #1-7の7個体は本流の St. 1-3において4-8月に釣獲されたもので、最上流の採集地点となる St. 3の下流には、綾戸ダム、板東堰、利根川河口堰、利根大堰がある (Fig. 1)。個体番号 #8は支流の渡良瀬川 (St. 4) で2015年6月に釣獲されたもので、採集地から本流との合流までには太田頭首工および邑楽頭首工が存在する。

供試魚は釣獲後に家庭用冷凍庫で保管されていたもので、解凍後、扁平石を摘出し、耳石 Sr:Ca 比の分析に用いた。また、各検体の胃内容物は実体顕微鏡を用い、トビゲラ目、カゲロウ目、トンボ目、魚類、貧毛類に分け、既報 (石田・石田, 1985; 細谷, 1993; 丸山・高井, 2000; 石塚, 2014) に従って、可能な限り属レベルまで分類し、湿重量を0.01gまで計測した。

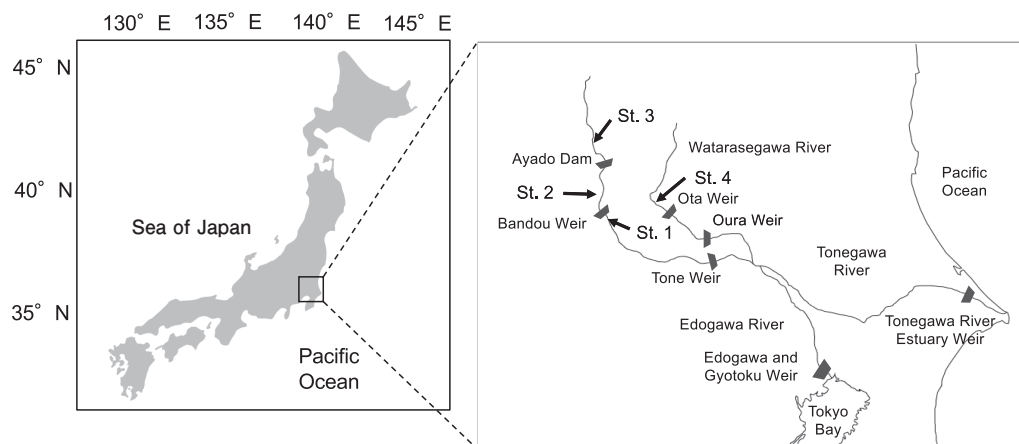


Fig. 1. Map showing sampling stations (St. 1 - 4).

Table 1. Summary of specimens *Oncorhynchus masou masou* used for Sr:Ca analyses.

Fish ID	Sampling site	Distance from the Tonegawa River mouth (km)	Sampling date	Total length (cm)	Body weight (kg)	Migration patterns inferred from Sr:Ca ratio
# 1	St. 3	243	June 2010	32	0.5	Non-anadromous
# 2	St. 1	211	August 1999	44	1.0	Anadromous
# 3	St. 3	243	April 2011	35	0.6	Non-anadromous
# 4	St. 2	221	May 2010	45	1.2	Non-anadromous
# 5	St. 3	243	June 2012	54	1.6	Anadromous
# 6	St. 1	211	July 2013	40	0.6	Non-anadromous
# 7	St. 1	211	July 2015	51	1.5	Anadromous
# 8	St. 4	180	June 2015	38	0.6	Non-anadromous

### 耳石 Sr:Ca 比分析

供試魚8個体から摘出した扁平石の凸面が上になるようにスライドガラス上に置き、これをエポキシ樹脂 (Epofix, Stuers 社製) で包埋した。包埋後、耳石の核が露出するまで #220-2400の耐水研磨紙を用いて研磨し、最終的に3 $\mu$ mのダイヤモンドペーストで鏡面仕上げした。耳石研磨面にカーボン蒸着を施した後、耳石 Sr:Ca 比を波長分散型電子線マイクロアナライザー (JXA-8200型, 日本電子) で分析した。分析条件は海野ら (2001) に準じ、1ポイント当たりの分析時間を10秒、ビーム径5 $\mu$ m、加速電圧および照射電流値はそれぞれ15Kv および10nA とした。分析は、耳石中心から後部縁辺に至る線上で行い、チャートパターンを得た。カルシウムとストロンチウムの X 線強度の濃度変換 (重量 %) は、それぞれ SrTiO<sub>3</sub> および CaSiO<sub>3</sub> を標準試料に用い、カルシウムに対するストロンチウムの濃度比を10<sup>3</sup>倍した値を耳石 Sr:Ca 比とした。

## 結果および考察

利根川上流域および渡良瀬川で釣獲された8個体の耳石 Sr:Ca 比の変動には二つのパターンがみられた (Fig. 2)。一つは、耳石中心から縁辺部まで耳石 Sr:Ca 比が終始2前後を推移するパターンで、個体番号 #1, 3, 4, 6, 8の5個体に認められた。もう一つは、耳石中心部から耳石 Sr:Ca 比が2前後を推移するものの、1200 - 1500  $\mu\text{m}$  から縁辺部付近にかけて耳石 Sr:Ca 比が4前後を推移するパターンであった。こうしたパターンは個体番号 #2, 5, 7の3個体で認められた。

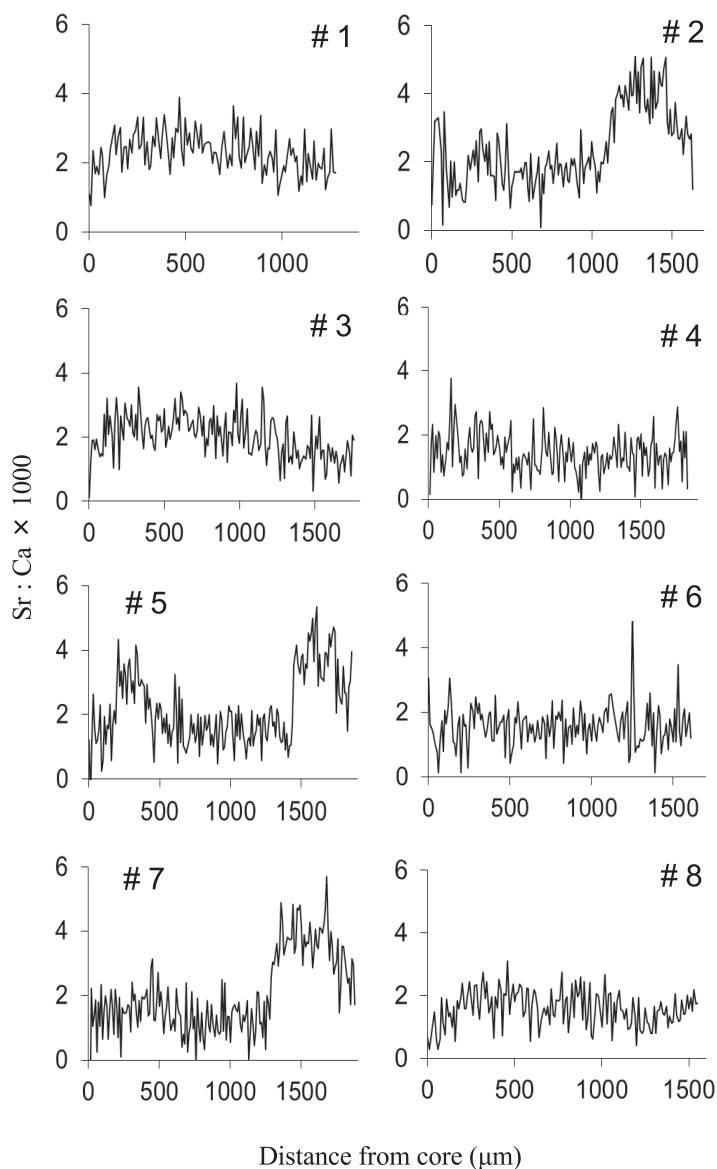


Fig. 2. Changes in the Sr:Ca ratio between the core and the edge of the sagittal otolith of *Oncorhynchus masou masou* at 180-243 km upstream in the Tonegawa River.

降海型サクラマスやサツキマス *Oncorhynchus masou ishikawae* の耳石 Sr:Ca 比は、淡水域で1-2、海水中では3-4程度の値を推移するという (Arai and Tsukamoto, 1998; 海野ら, 2001; Ohji *et al.*, 2007; 新井ら, 2014; Kasugai *et al.*, 2014)。よって、耳石 Sr:Ca 比が終始2付近を推移した5個体 (#1, 3, 4, 6, 8) は、非回遊型と推察された。これに対して、耳石 Sr:Ca 比の変動が大きかった3個体 (#2, 5, 7) は、降海型と推察された。1999-2015年に釣獲された利根川産の大型ヤマメには降海型と非回遊型が存在し、河川環境に応じて回遊型を柔軟に変化させた可能性が示唆された。

供試魚の胃内容物を検鏡した結果、降海型3個体 (#2, 5, 7) は空胃で、非回遊型5個体 (#1, 3, 4, 6, 8) からヒゲナガカワトビケラ属幼虫 (*Stenopsyche* sp.), フタバコカゲロウ属幼虫 (*Baetiella* sp.), クロイトトンボ属幼虫 (*Cercion* sp.) が見つかった (Table 2)。また、非回遊型の胃内容物には、貧毛類およびアブラハヤ属魚類 (*Phoxinus* sp.) も含まれた。河川生活期のサクラマスおよび降湖型サクラマスは、ヒゲナガカワトビケラ属などの水生昆虫、貧毛類や小型魚類を捕食する (本多ら, 1980; 山口ら, 2000; 下田ら, 2004; 木曾 2014; 新井ら, 2014)。また、利根川の採捕地点周辺ではヒゲナガカワトビケラ (*Stenopsyche marmorata*) を中心としたトビケラ目が多く採集され (田中ら, 2008)、渡良瀬川の採捕地点周辺でもヒゲナガカワトビケラが多く採集されている (鈴木ら, 2004)。加えて、アブラハヤ (*Phoxinus lagowski steindachneri*) は利根大堰から上流にかけて出現する魚種である (群馬県土木部河川課, 1998)。よって、利根川の非回遊型個体はこうした水生昆虫や小型魚類を主な餌料生物として利用していると推察される。一方、降海型と判定された3個体はいずれも空胃であった。一般的に、海から河川に戻った降海型サクラマスは餌を食べないとされる (木曾, 2014)。しかし、本研究と同じく利根川上流域で釣獲された降海型サクラマスの多くは、ヒゲナガカワトビケラ属幼虫を摂餌していた (新井ら, 2014)。よって、河川における降海型サクラマスの摂餌状態には、餌料環境や生理状態などによって個体差が生じる可能性がある。

降海型と判定された3個体の釣獲地点は、利根川河口から211-243km 上流であった。河口からの遡上距離は、200km 遡上するとされる岩手県の築川や北海道の天塩川を上回って国内で最長である可能性がある。また、これらの降海型は、利根川河口堰、利根大堰に付設された魚道を通過しており、最も上流で釣獲された個体 (#5) に関しては、板東堰および綾戸ダムに付設された魚道も通過したと考えられる。一方、これら降海型3個体の耳石縁辺部付近の比は、淡水生活を反映して2前後を推移しているものの、2前後の耳石幅がごく僅かであることから、短期間のうちに堰を通過し、釣獲地点へと遡上したと考えられる。

通し回遊魚の遡河状況を把握することで、堰に付設された魚道や河川の連続性の客観的評価が可能であり (津行ら, 2015; 海野ら, 2015)、今後は利根川水系の降海型サクラマスの遡上と魚道機能性について精査することも一案である。

Table 2. Stomach contents of five *Oncorhynchus masou masou*.

Stomach contents (species)	Weight (g)				
	# 1	# 3	# 4	# 6	# 8
Trichoptera ( <i>Stenopsyche</i> sp.)			0.12		0.93
Ephemeroptera ( <i>Baetiella</i> sp.)					0.03
Odonata ( <i>Cercion</i> sp.)				0.18	
Oligochaeta (species unknown)	0.38				0.31
Fish ( <i>Phoxinus</i> sp.)		10.68			

## 謝 辞

群馬県前橋市在住の山本 秀氏には釣獲したサクラマスをご提供して頂いた。埼玉県春日部市在住の浦社 一郎氏には利根マスに関する多くの有益なご意見をいただいた。また、耳石 Sr:Ca 比分析に際し、広島大学自然科学研究支援センター、並びに、広島大学技術センターの柴田恭宏技官には、電子線プローブマイクロアナライザーによる分析に協力して頂いた。ここに記し深謝の意を表します。

## 引用文献

- 新井 肇・神澤裕平・清水延浩・松岡栄一・海野徹也. 2014. 利根川で釣獲された大型ヤマメの耳石微量元素分析. *群馬県水産試験場研究報告*. **20**: 22-28.
- Arai, T., Tsukamoto, K., 1998. Application of otolith Sr : Ca ratios to estimate the migratory history of masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Ichthyological Research*. **45**: 309-313.
- 福島路生・亀山 哲. 2006. サクラマスとイトウの生息適地モデルに基づいたダムの影響と保全地域の評価. *応用生態工学*. **8**: 233-244.
- 群馬県土木部河川課. 1998. 地理的分布から見たみた魚類の出現傾向. *河川水辺の国勢調査等のまとめ - 群馬の川と魚 - 報告書*. 42-45.
- 本多信行・鈴木惇悦・網田健次郎・片岡哲夫・江村 清. 1980. 奥只見湖における湖産サクラマスの再生産に関する研究 (1). *新潟県内水面水産試験場調査研究報告*. **8**: 5-15.
- 細谷和海. 1993. コイ目. 「日本産魚類検索」(中坊徹次 編) 東海大学出版会, 東京: 212-223.
- 石田昇三・石田勝義. 1985. 蜻蛉目 (トンボ目). 「日本産水生昆虫検索図説」(川合禎次 編) 東海大学出版会, 東京: 53-57.
- 石塚小太郎. 2014. ミミズ図鑑. 全国農村教育協会, 東京: 267 pp.
- Kasugai, K., Hayano, H., Mano, S., Watanabe, T., Yoshikawa, T., Saito, M., Wakimoto R., Sugiwaka, K., 2014. Preliminary study of migration history estimated from otolith Sr:Ca ratios of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in Lake Kussharo. *Ichthyological Research*. **61**: 178-182.
- 木曾克裕. 2014. 二つの顔をもつ魚 サクラマス. 成山堂書店, 東京: 186 pp.
- 久保達郎. 1980. 北海道のサクラマスの生活史に関する研究. *北海道さけ・マスふ化場研究報告*. **34**: 1-6.
- 丸山博紀・高井幹夫. 2000. 原色川虫図鑑 (谷田一三監修). 全国農村教育協会, 東京: 244 pp.
- 永田光博. 2008. サケ類の生態系保全と再生. 「水産資源の増殖と保全」(北田修一・埴山雅秀・浜崎活幸・谷口順彦 編著) 成山堂書店, 東京: 22-65.
- Ohji M., Arai T., Miyazaki N., 2007. Comparison of organotin accumulation in the masu salmon *Oncorhynchus masou* accompanying migratory histories. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **72**: 721-731.
- 下田和孝・中島美由紀・柳井清治・河内香織・伊藤絹子. 2004. 陸上植物からサクラマス幼魚への物質移動経路. *魚類学雑誌*. **51**: 123-134.
- 鈴木絃子・松原利光・久下敏宏・新井 肇・宮原義夫・金井映里子・矢島久美子・信澤邦宏. 2004. 漁場環境基礎調査 - XXIX (渡良瀬川). *群馬県水産試験場研究報告*. **10**: 3-13.
- 玉手 剛. 2008. 1980年以前の北海道沿岸におけるサクラマス漁獲量の推定. *水産増殖*. **56**: 137-138.
- 津行篤士・岡崎隆真・海野徹也・竹下邦明. 2015. 広島県太田川下流域におけるカジカ中卵型 *Cottus* sp. (middle-egg type) の回遊履歴の推定. *生物圏科学*. **54**: 7-12.
- 田子泰彦. 1999. 神通川と庄川におけるサクラマス親魚の遡上範囲の減少と遡上量の変化. *水産増殖*. **47**: 115-118.
- 田中英樹・鈴木究真・西原美知子・泉庄太郎・宮原義夫・吉澤和具. 2008. 漁場環境基礎調査 - XXXIII (利根川). *群馬県水産試験場研究報告*. **14**: 1-10.
- 海野徹也・清家 暁・大竹二雄・西山文隆・柴田恭宏・中川平介. 2001. 耳石微量元素分析による広島県太田川サツキマスの回遊履歴の推定. *日本水産学会誌*. **67**: 647-657.
- 海野徹也・山本雅樹・笹田直樹・大原健一. 2015. 江の川における通し回遊魚の耳石 Sr:Ca 比と回遊履歴. *応用生態工学*. **18**: 147-154.
- 山口一彦・中村智幸・丸山 隆. 2000. 人工湖における降湖型サクラマス, *Oncorhynchus masou masou* の天然魚と放流魚の年齢組成, 性比, 成長, 食性. *水産増殖*. **48**: 615-622.
- 山崎憲人・宮島重保・藤田幸雄. 2008. “サクラマスが増える河川環境を再生し, 川本来の姿を取り戻す” 神通川自然再生プロジェクト. *国土交通省国土技術研究会報告*. 153-157.

## Insight into the migratory history using otolith Sr : Ca ratio of the anadromous masu salmon *Oncorhynchus masou masou* from the Tonegawa River

Atsushi TSUYUKI<sup>1)</sup>, Kouken SORIMACHI<sup>2)</sup>, Hajime ARAI<sup>3)</sup>, Tetsuya UMINO<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8528, Japan

<sup>2)</sup> Okanogou, Fujioka, Gunma 375-0011, Japan

<sup>3)</sup> Gunma Prefectural Fisheries Experimental Station, 13 Shikishimacho, Maebashi, Gunma 371-0036, Japan

### Summary

The migratory histories of *Oncorhynchus masou masou* in the Tonegawa River were evaluated from the ontogenetic changes in otolith Sr:Ca ratios. We sampled 8 fish at 180-243 km upstream from the river mouth. Three fish were categorized as anadromous whereas five individual were categorized as non-anadromous life mode with the constantly low Sr:Ca ratios. Intraspecific variation in the migration modes recorded for *O. masou masou* suggest a plasticity strategy for anadromous behaviors.

**Key words:** Anadromous, Migratory history, *Oncorhynchus masou masou*, Sr/Ca ratios, Tonegawa River